



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Caracterização Química do *Arundo donax* Para a
Obtenção de Etanol 2G**

**Autor: Glayson Quintiliano de Souza
Orientador: Sandra Maria da Luz
Co-orientador: Thiago Oliveira Rodrigues**

**Brasília, DF
2014**



Glaysen Quintiliano de Souza

Caracterização Química do *Arundo donax* Para a Obtenção de Etanol 2G

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dra Sandra Maria da Luz

Co-Orientador: Dr. Thiago Oliveira Rodrigues

**Brasília, DF
2014**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Quintiliano, Glayson Souza.

Caracterização Química do Arundo donax Para a
Obtenção de Etanol 2G/ Glayson Quintiliano de Souza.
Brasília: UnB, 2014. 43p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2014. Orientação: Sandra Maria
da Luz.

1. Caracterização. 2. Etanol. 3. *Arundo donax* I. Luz, Sandra
Maria. II. Dra.

CDU Classificação



Caracterização Química do *Arundo donax* Para a Obtenção de Etanol 2G

Glaysen Quintiliano de Souza

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 24 de Junho de 2014, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profa. Dra: Sandra Maria da Luz, UnB/ FGA
Orientador

Dra: Patrícia Abrão de Oliveira, EMBRAPA
Membro Convidado

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale, UnB/ EFL
Membro Convidado

Brasília, DF
2014

A queda é apenas a chance de uma nova visão de mundo, de uma nova perspectiva para aquele que busca aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todas as pessoas que me apoiaram e torceram pelo meu sucesso, sem vocês não haveria êxito e nem motivo para este fruto.

Em especial devo mencionar primeiramente a Deus que me deu vida, vitalidade e a teimosia necessária para seguir por este caminho. Agradeço aos meus pais que, em sua simplicidade, muito me auxiliaram me ditando as primeiras regras deste mundo e me ensinando através de seus conselhos, me mostraram que tenho mais força do que poderia imaginar.

Não poderia esquecer meus mestres, professores desta prestigiosa e crescente universidade, àqueles que me auxiliaram e me apoiando, ou não, me fizeram ser mais do que tinha sonhado. À ex-coordenadora do curso de Engenharia de Energia, professora Thais Maia e aos queridíssimos orientadores que sempre me ajudaram e torceram por mim. Agradeço a todo o corpo docente da FGA, em especial àqueles que colocaram muita dificuldade pra este fim, muitas lições foram aprendidas.

Agradeço, ainda, aos meus colegas e companheiros de jornada, pois juntos aprendemos como alcançar a vitória.

Finalmente, quero agradecer todo o corpo funcional da Embrapa Agroenergia que contribuíram enormemente para os resultados aqui apresentados, especialmente à Patrícia Abrão de Oliveira e à Raquel Bombarda Campanha.

O homem é a medida de todas as coisas
(Protágoras).

RESUMO

As necessidades mundiais de novas fontes energéticas iniciaram pesquisas ao redor do mundo para a exploração de novas alternativas em biocombustíveis. Processos foram criados e outros melhorados até atingirem o estado tecnológico atuais, dentre estes está a conversão do caldo de cana-de-açúcar em etanol. Há outros processos de obtenção deste combustível tais como a hidrólise ácida da celulose para convertê-la em açúcar e finalmente em etanol. Espécies vegetais estão sendo estudadas e sua caracterização é essencial para se comprovar viabilidade produtiva, considerando principalmente o teor de celulose. Neste mesmo sentido, este trabalho caracterizou o *Arundo donax* L. no sentido de averiguar a possibilidade da conversão desta biomassa em etanol de segunda geração. Foram encontrados resultados animadores para a quantidade de celulose e hemicelulose desta espécie, 40% para celulose e outros 20% para a hemicelulose, 20% de lignina, além da composição em massa de outros compostos como proteínas e cinzas.

Palavras-chave: Caracterização química de biomassa, Etanol 2G, biocombustível, *A. donax* L.

ABSTRACT

The world need of new energy sources, researches around the world has begun to explore new alternatives for biofuels. Processes are created and improved until they reach the current technological status, among these is the conversion of sugar cane-cane in ethanol. There are other methods of obtaining this fuel such as acid hydrolysis of cellulose to convert it into sugar and eventually in ethanol. Plant species are studied and their characterization is essential to establish productive viability, especially considering the content of cellulose. In the same sense, this work *Arundo donax* L. characterized in order to investigate the possibility of conversion of biomass into second generation ethanol. Encouraging results for the amount of hemicellulose and cellulose of this kind, 40% cellulose and 20% for hemicellulose, 20% lignin were found in addition to the bulk composition of proteins and other compounds such as ash.

Keywords: Biomass chemic characterization, 2G ethanol, *A. donax* L.

LISTA DE SIMBOLOS

NREL - *National Renewable Energy Laboratory*

LAP - **Laboratory Analytical Procedure**

PCS - Poder Calorífico Superior

GPS - *Global Positioning System*

CAL – IPC – *California Invasive Plant Council (IPC)*

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa

bu – base úmida

bs – base seca

PCS – Poder Calorífico Superior

PCI – Poder Calorífico Inferior

Tep – Tonelada de equivalente petróleo

OECD – *Organization for Economic Co-operation and Development*

BEN – Balanço Energético Nacional

Ad – Arundo donax L.

IUCN – *International Union for Conservation of Nature*

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVO	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 SITUAÇÃO ATUAL ENERGÉTICA NO MUNDO	16
2.2 SITUAÇÃO ATUAL ENERGÉTICA NO BRASIL	17
2.3 ESTADO ATUAL DAS RESERVAS DE PETRÓLEO.....	21
2.4 BIOMASSA COMO OPÇÃO ENERGÉTICA.....	23
2.4.1 Materiais Lignocelulósicos.....	23
2.5 CANA-DO-REINO (<i>ARUNDO DONAX</i>).....	24
2.6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA.....	26
2.6.1 Análise calorimétrica.....	27
2.6.1.1 Poder Calorífico Superior e Inferior.....	27
2.6.2 Cinzas	28
2.6.3 PROTOCOLOS NREL	28
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.....	30
3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	32
3.3 DETERMINAÇÃO DO PCS E PCI (Q)	33
3.4 ANÁLISE DO TEOR DE EXTRATIVOS	34
3.5 ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE.....	35
3.6 ANÁLISE DO TEOR DE LIGNINA E CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS ...	35
3.7 ANÁLISE DO TEOR DE PROTEÍNAS	36
4 Análise dos resultados.....	37
5 Conclusões e perspectivas futuras do trabalho	41
Bibliografia.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia nos anos de 1973 e 2011.	16
Figura 2: Divisão energética no mundo em 1973 e 2012.	17
Figura 3: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012	18
Figura 4: Consumo final por fonte	19
Figura 5: Dependência externa de energia	19
Figura 6: Fluxo Energético em 2012.	20
Figura 7: Dependência externa de energia	21
Figura 8: Importação de energia.....	21
Figura 9: Reservas mundiais de petróleo, 2005.....	22
Figura 10: Camada pré-sal.....	23
Figura 11: Material lignocelulósico.....	24
Figura 12: Dispersão do <i>A. donax</i> no mundo	25
Figura 13: Cana-do-reino e Suas Aplicações	25
Figura 14: Estrutura da celulose, hemicelulose e lignina	27
Figura 15: Instalações do NREL	28
Figura 16: Pontos de coleta ao longo do Lago Paranoá	30
Figura 17: Pontos de coleta ao longo da BR 060	31
Figura 18: Amostras para Bomba Calorimétrica.....	33
Figura 19: Extrator acelerado de extrativos, ASE	35
Figura 20: Amostras em banho por 01 hora.	36
Figura 21: Gráfico HPLC para a cana-de-açúcar (A) e para o <i>Arundo donax</i> L. (B).....	39

1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes energéticas está presente desde os primórdios da civilização. Conversões energéticas são observadas em estrelas na transformação da energia nuclear em energia térmica e luminosa, plantas convertem a energia luminosa do sol em alimento para si e para outros seres vivos que, por sua vez, podem converter esta energia em movimento e calor, ou seja, é um ciclo interminável de conversões que nos remete à lei popularizada de Lavoisier: "Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma" (Lavoisier, A., 1794).

O calor é considerado a primeira forma de energia ou de uma fonte energética controlada pelos seres humanos e consiste basicamente na reação química conhecida como oxidação da biomassa. A biomassa é um termo introduzido inicialmente por Eugene Adam (CENBIO, 2014), e é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus diferentes processos, desde quando fixada a energia solar nas moléculas constituintes de suas células passando por todas as etapas da cadeia alimentar ou trófica.

Energia é um termo que deriva do grego "ergos" cujo significado original é trabalho. Energia na Física está associada à capacidade de qualquer corpo produzir trabalho, ação ou movimento e pode assumir diversas formas. Seja na forma de energia luminosa, energia térmica, energia elétrica, energia química, nuclear, etc.

1.1 MOTIVAÇÃO

Fontes energéticas diversas foram estudadas, exploradas e sofreram modificações significativas para melhorar seu rendimento. Conjuntamente com estas evoluções, nasceu às preocupações com impactos ambientais e conservação do planeta e de seus diversos recursos. Estas ideias inauguraram uma nova forma de pensar e de enxergar nosso planeta. Nesta linha de pensamento surgiu a ideia da utilização de biocombustíveis. O portal biodieselbr define biocombustíveis como sendo "combustíveis produzidos a partir da biomassa (matéria orgânica), isto é, de fontes renováveis – produtos vegetais ou compostos de origem animal" (BiodieselBR, 2014).

Neste sentido a comunidade acadêmica tem estudado diversas novas tecnologias e uma série de espécies que poderiam auxiliar em uma ou mais formas

o planeta, uma dentre estas espécies é a cana-do-reino (*Arundo donax*). Esta planta é de origem mediterrânea e tem se espalhado por várias nações no mundo como boas opções para o tratamento de solos erodidos por sua facilidade de crescimento e por seu bom espalhamento das raízes no solo, (Simões, 2013). É uma espécie que logo foi vista como praga, pois sua capacidade de ocupação é acima do padrão considerado como normal, principalmente em áreas com boa disponibilidade de água. É uma espécie cultivada pelos humanos há mais de 5.000 anos sendo utilizada pelos antigos egípcios para envolver seus mortos e na utilização de fabricação de flautas e palhetas de instrumentos de sopro. Também se apresentam como grande fonte de celulose e biomassa, (Simões, 2013).

1.2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo estudar algumas propriedades físicas e químicas da espécie *Arundo donax* para viabilização da obtenção de etanol de segunda geração.

1.3 JUSTIFICATIVA

As usinas de processamento de cana-de-açúcar trabalham de forma ininterrupta por oito meses a cada ano, ficando em ócio por quatro meses no período de entressafra. Há a necessidade da utilização de biomassa que se desenvolva no período da entressafra, ou mesmo durante a safra, e diminua a ociosidade enfrentada pelo setor ou se torne opção viável para a cogeração. O *Arundo donax* L. tem se mostrado boa candidata para o processo de cogeração e etanol 2G, contudo não há muitos estudos, no Brasil, acerca de sua caracterização química. Assume-se a hipótese de que a cana-do-reino seja uma boa opção para a produção de etanol de segunda geração e/ ou como biomassa para a cogeração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SITUAÇÃO ATUAL ENERGÉTICA NO MUNDO

A humanidade usa grande quantidade de energia para sustentar seu modo de vida ao redor de todo o planeta. Em 2007, por exemplo, foram gastos dez milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) em recursos não renováveis, combustíveis fósseis (World Energy Balance Outlook and OPEC Production, 2012). O desbalanço existente entre a disponibilidade, produção e consumo de energia são um desafio para os tomadores de decisão nos setores energéticos em todo o mundo (World Energy Balance Outlook and OPEC Production, 2012). O fim das reservas fósseis está previsto para um futuro muito próximo quando se compara o aumento do consumo com o aumento da produção. A Figura 1 nos mostra que de 1973 a 2011 houve aumento de mais de 100% no consumo mundial (IEA, 2013).

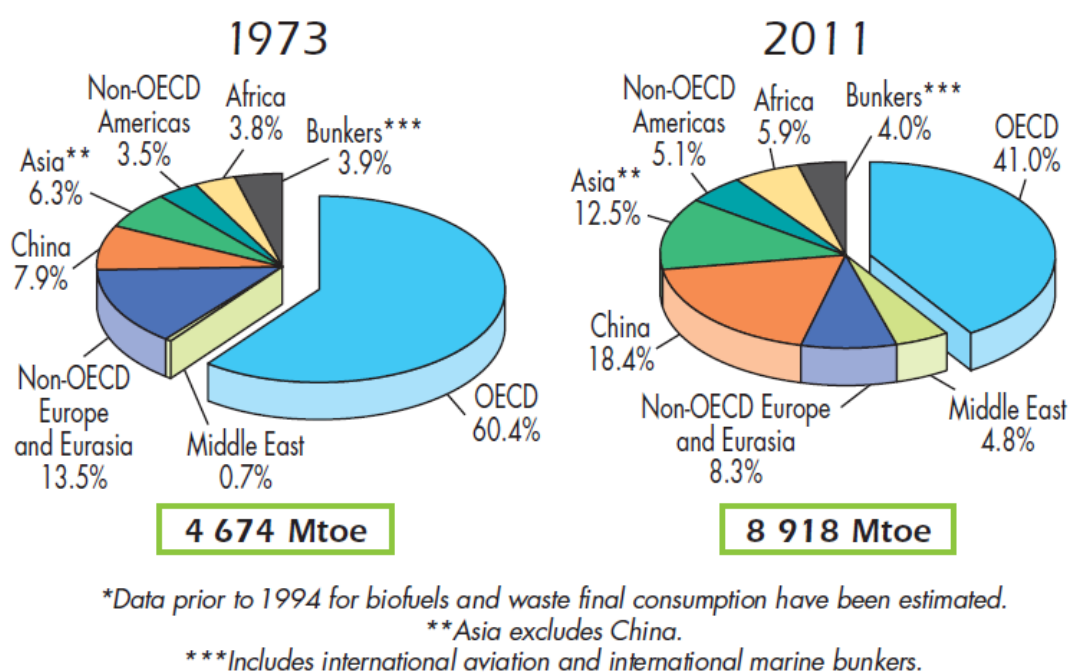


Figura 1: Consumo de energia nos anos de 1973 e 2011 (IEA, 2013).

Esta é uma das perspectivas impulsionaram o mundo a pesquisar e explorar novas fontes energéticas renováveis. Este fato fica claramente evidenciado quando se analisa a Figura 2, que demonstra o crescimento percentual de fontes renováveis exploradas pela humanidade desde 1973 (IEA, 2013).

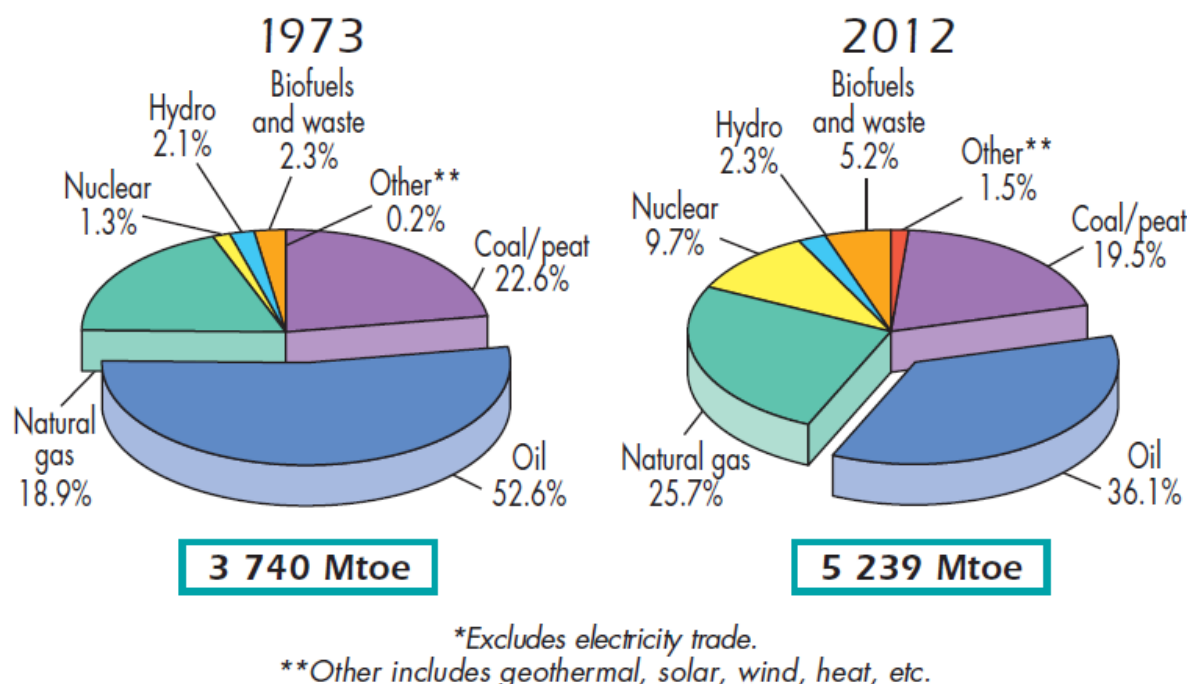


Figura 2: Divisão energética no mundo em 1973 e 2012 (IEA, 2013). *Mtoe=Mtep.

Dentre as fontes renováveis pode-se destacar a energia hidroelétrica, a solar, a eólica e os biocombustíveis (World Energy Balance Outlook and OPEC Production, 2012). Mais de 160 países utilizam-se da energia hidroelétrica, responsável por atender cerca de 2% da produção mundial de energia elétrica, ou seja, aproximadamente 120,5 Mtep (1 Mtep = 11630 GWh). A evolução do conhecimento e pesquisa dos biocombustíveis elevou seu uso percentual de 2,3% para 5,2%, contudo nesta soma não estão incluídas a energia eólica e solar, classificada como outras em conjunto com outras fontes renováveis menos exploradas. Porém, as energias renováveis passaram dos meros 4,5% em 1973 para 9,0%, segundo dados do Key World de 2013 do IEA, representando uma dobra percentual do uso destes recursos.

Apesar dos números animadores da evolução da exploração de fontes renováveis ainda existe muito a se desenvolver para a substituição das fontes fósseis que ainda tomam mais de 80% de todas as fontes exploradas e utilizadas no mundo.

2.2 SITUAÇÃO ATUAL ENERGÉTICA NO BRASIL

O Brasil tem uma matriz elétrica atípica quando comparada às matrizes mundiais, posto que sua composição seja quase exclusivamente de fontes

renováveis com um total de 84,6% de fontes exclusivamente renováveis como se pode observar na Figura 3 (EPE, 2013).

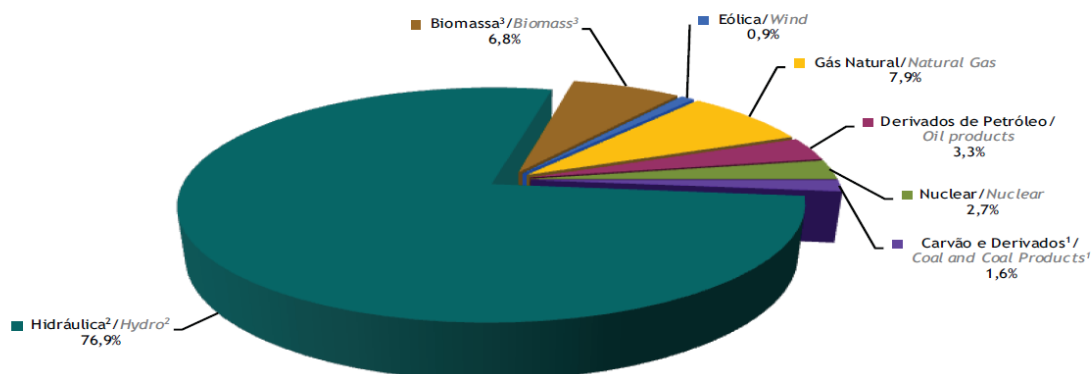


Figura 3: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012 (EPE, 2013)

Conforme dados encontrados no BEN/2013 (EPE, 2013), que se referencia no ano de 2012, houve aumento de 86,7% na produção de energia eólica atingindo-se 5.050 GWh. Fato também observado para o biodiesel, 1,7%, e para o etanol, 2,4%. Para este último observa-se um fato preocupante, pois parte da produção de etanol está sendo desviada para a produção de etanol hidratado, ou seja, há uma queda de 2,1% na produção do etanol anidro, combustível, apesar da observação de aumento de 9,7% provocados pela mistura deste combustível na constituição da gasolina tipo C (EPE, 2013).

A Figura 4 apresenta o comportamento do consumo nacional separado por fonte. O consumo de derivados de petróleo tem aumentado desproporcionalmente desde 1970, quando era de cerca de 25 Mtep, passando a números próximos de 115 Mtep, aumento de 460%. O aumento de consumo de fontes renováveis não acompanhou o mesmo ritmo no período de estudo (EPE, 2013). Houve aumento do *grid* em 2012, passou-se a produzir mais 3,8 GWh de energia, onde 47,8% foram investidos em hidrelétricas, 40,0% em termelétricas e apenas 12,2% em fontes eólicas.

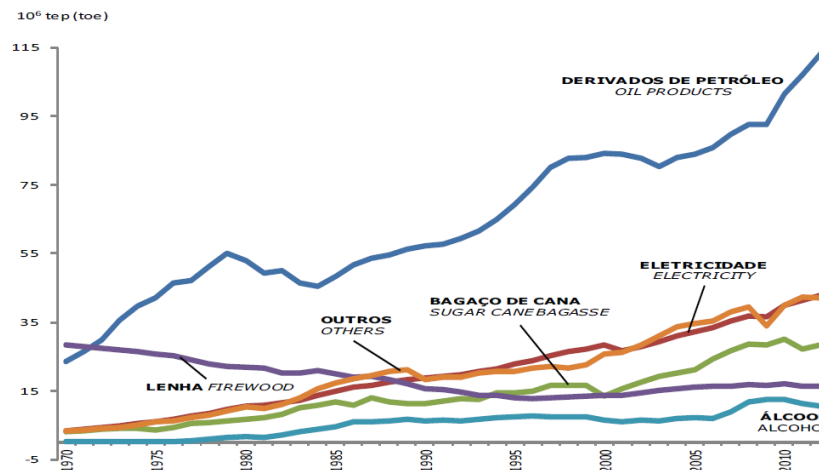


Figura 4: Consumo final por fonte (EPE, 2013).

Dentro da oferta total de 592,8 TWh, só se produz no país 498,4 TWh, ou seja, há a importação de 40,3 TWh de energia para suprir o mercado interno,

Figura 5. A situação atual preocupa, pois o consumo ascendente de 3,8% contra um crescimento da oferta de 4,4% demonstra uma margem bem apertada para alguma decisão nesta matéria (EPE, 2013). A Figura 6 ilustra o fluxo energético do país com o total produzido por cada fonte na entrada e o total consumido na saída.

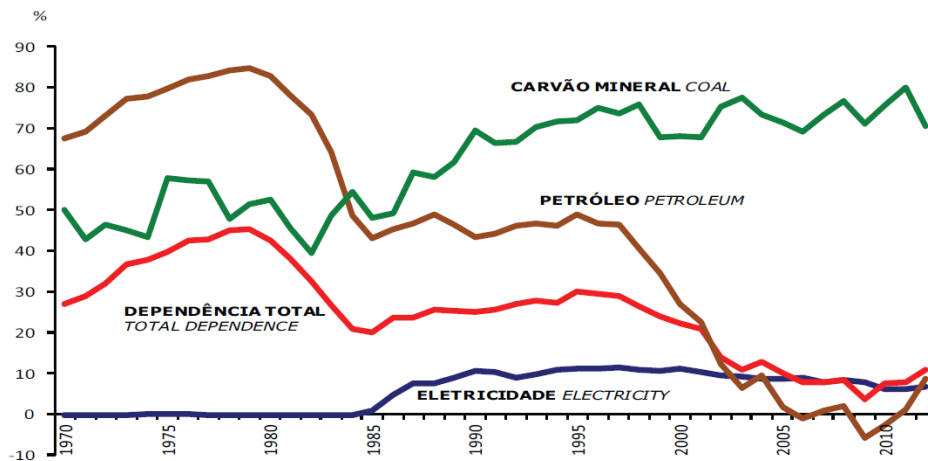


Figura 5: Dependência externa de energia (EPE, 2013).

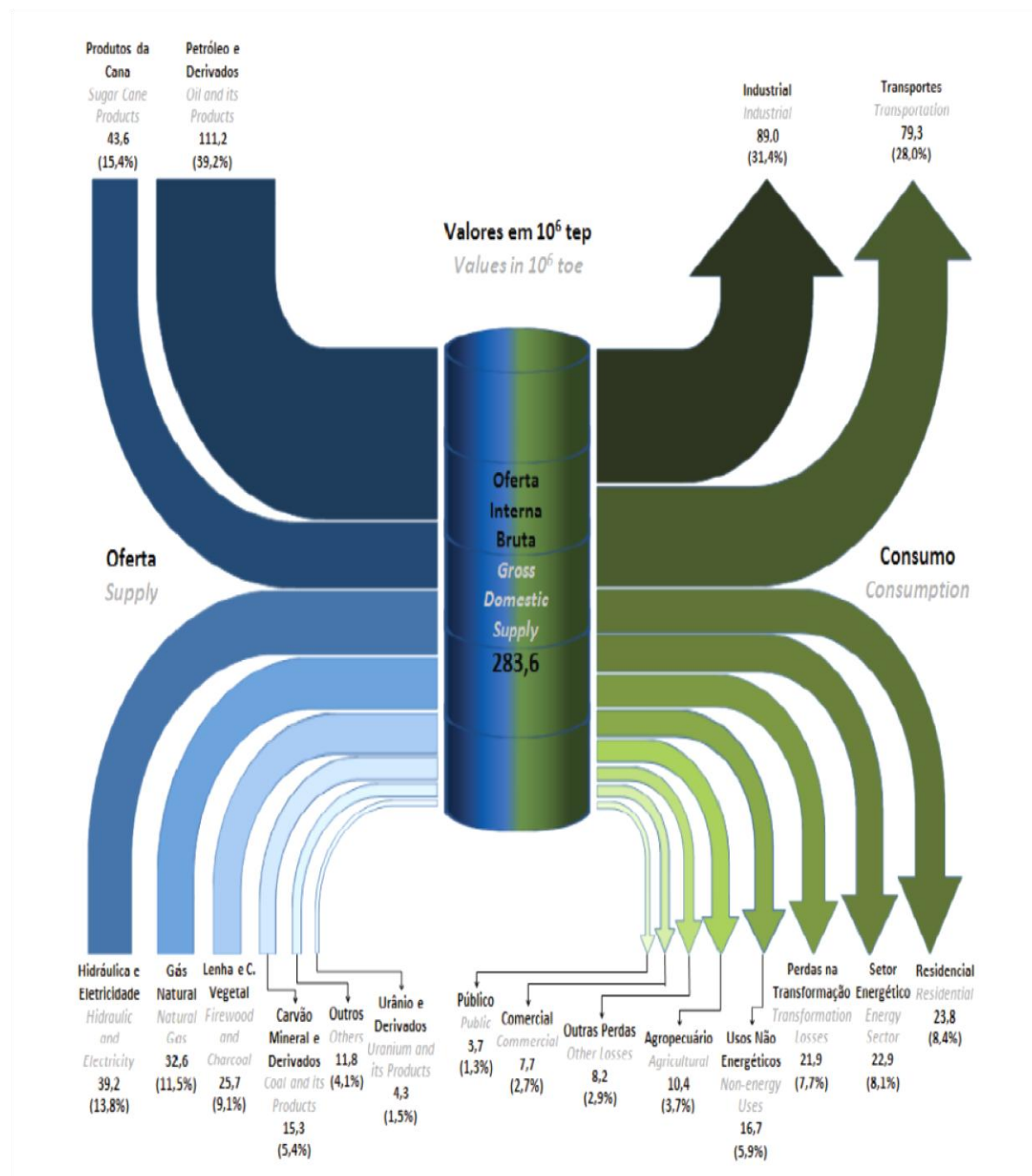


Figura 6: Fluxo Energético em 2012 (EPE, 2013).

A dependência externa também preocupa como se evidencia nas Figura 7 e Figura 8 a importação de energia acompanhou o mesmo ritmo do crescimento da produção interna.

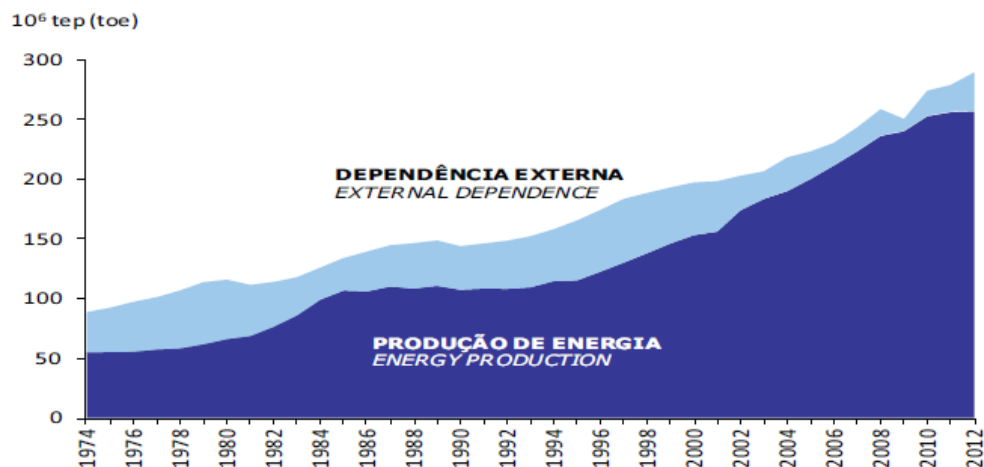


Figura 7: Dependência externa de energia (EPE, 2013).

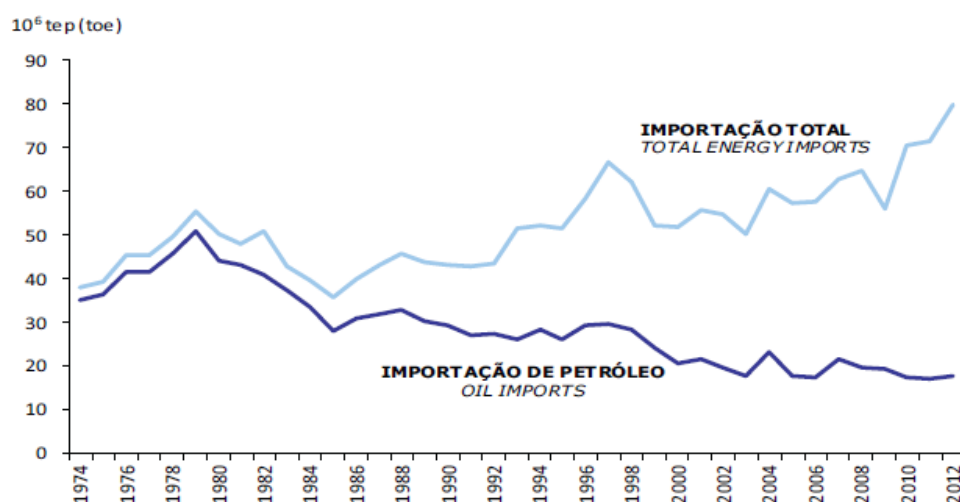


Figura 8: Importação de energia (EPE, 2013).

2.3 ESTADO ATUAL DAS RESERVAS DE PETRÓLEO

Segundo Lora (Lora, Electo E. S., et al, 2012), as reservas de petróleo estão dispostas de maneira irregular no mundo. Apenas poucas delas possuem as características ideais para a formação e acúmulo de quantidades significativas de petróleo e a maior parte destas reservas encontram-se no Oriente médio com 65% do total mundial, Figura 9.



Figura 9: Reservas mundiais de petróleo, 2005.

Contudo, atualmente com as recentes descobertas relativas às reservas existentes no pré-sal, este cenário mudou postergando as previsões de extinção das reservas petrolíferas. O pré-sal é uma formação geológica em forma de camadas que se localizam abaixo do leito oceânico (Henderson, 2014). O Brasil descobriu a existência e foi o primeiro a explorar o petróleo lá existente, Figura 10. Mas isto não afasta a ideia de que certamente se extinguirão as reservas de petróleo no mundo, só adia em algumas décadas.

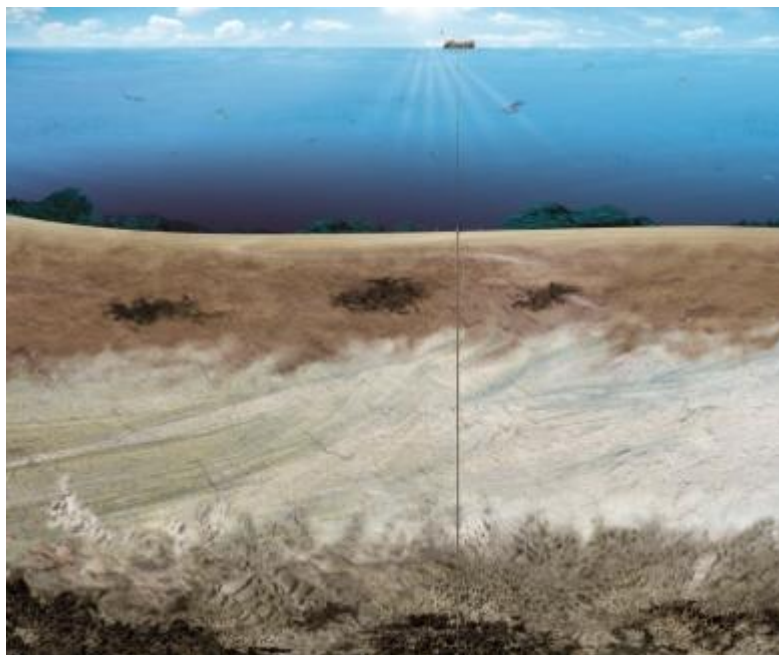


Figura 10: Camada pré-sal (PETROBRÁS).

2.4 BIOMASSA COMO OPÇÃO ENERGÉTICA

Segundo o CENBIO, a biomassa é constituída por todos os seres vivos em seus diferentes processos, isto é, a matéria orgânica viva, desde quando fixa a energia solar nas moléculas de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar (CENBIO, 2014). Para a ecologia, biomassa é a massa da matéria orgânica presente em um ser vivo ou em um conjunto de seres vivos (Fonseca, 2014). Já para a energia a biomassa compreende todas as matérias orgânicas utilizadas como fonte de energia, podendo ser resíduos agrícolas ou florestais, plantas, animais ou micro-organismos.

2.4.1 Materiais Lignocelulósicos

Santana (Santana e Durães, 2013), conceitua a biomassa vegetal como sendo um produto direto da fotossíntese, por meio do qual o gás carbônico (CO_2) é convertido em açúcares, os quais posteriormente, são convertidos em polímeros estruturais como amido, celulose, hemicelulose e lignina. Por possuírem esta composição são chamados de materiais lignocelulósicos. Tecnicamente são os representantes do reino plantae e apresentam características fibrosas, Figura 11.

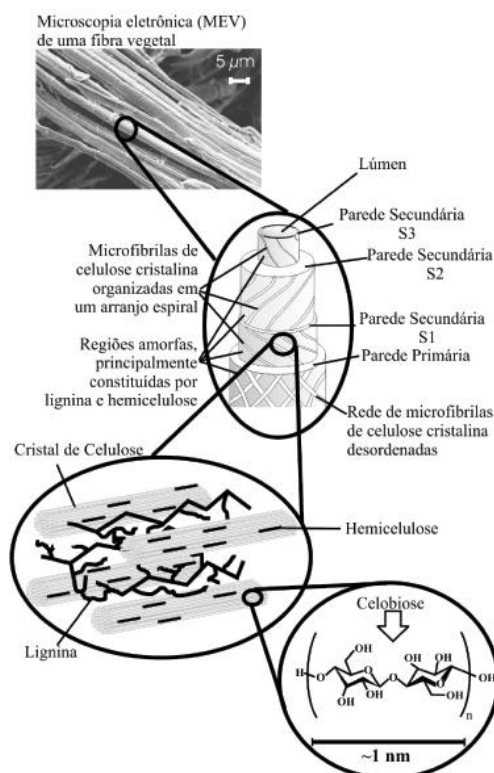


Figura 11: Material linocelulósico (Silva, et al; 2013).

Os materiais lignocelulósicos têm grandes aplicações desde os primórdios da humanidade. Em primeira instância serviam como combustível para as fogueiras e fogões à lenha e como material de defesa e caça, mantendo a segurança e provendo novas possibilidades alimentares às comunidades humanas. Depois como abrigo com a construção de moradias e como elemento de conforto com a construção de mobiliário.

O conceito de combustíveis foi-se ampliando até chegar-se aos combustíveis contemporâneos e a utilização da biomassa acompanhou esta evolução. Atualmente muitos estudos estão sendo realizados para a obtenção de combustíveis mais limpos e com menor nível de agressão ao meio ambiente (Lora, Electo E. S., et al, 2012). A produção de bioetanol, biodiesel e biogás são apenas exemplos do que se pode conseguir com a boa utilização da matéria lignocelulósica.

2.5 CANA-DO-REINO (*ARUNDO DONAX*)

A cana-do-reino (*Arundo donax*) tem sua origem incerta e é utilizada há séculos pelos seres humanos. Provavelmente tenha como seu habitat natural a Ásia Oriental, mas isto é incerto, pois sua dispersão é antiga e não documentada. Muito

utilizada para fins musicais na construção de instrumentos de sopro e palhetas, para fins mortuários (fato evidenciado no antigo Egito), fins de produção de papel onde a Itália é um dos países que a utilizam desta forma, fins de cultura vegetal onde o caule da cana-do-reino serve de suporte para o crescimento de outras plantas, dentre outros diversos usos observados para esta planta, (Henderson, 2014). Apresenta propriedades medicinais e há muito é utilizada pela cultura popular, se resalta seu uso no interrompimento da lactação. É muito utilizada na recuperação de áreas erodidas devido ao seu bom espalhamento dos rizomas, que também é sua forma mais comum de reprodução, e é considerada pela IUCN como uma das 100 piores espécies invasoras do mundo, Figura 12 (Simões, 2013).

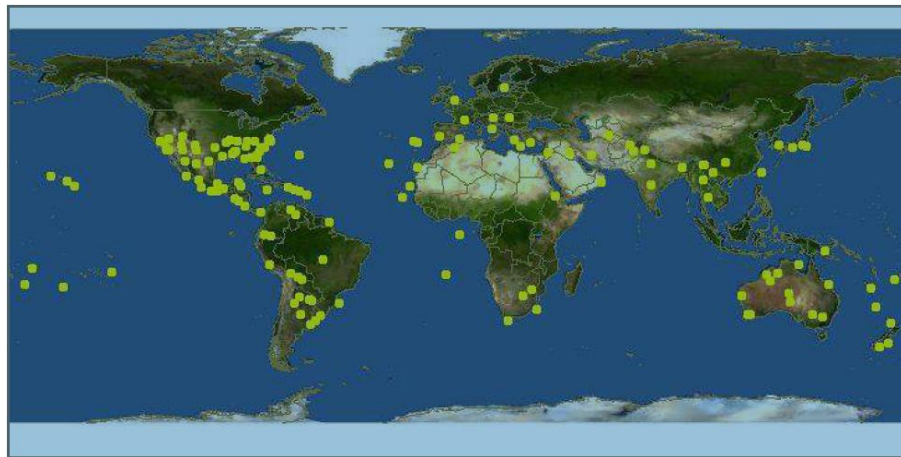


Figura 12: Dispersão do *A. donax* no mundo (Simões, 2013).



Figura 13: Cana-do-reino e suas aplicações.

É uma planta que apresenta pouca exigência acerca da fertilidade do solo, mas que exige grande quantidade de água disponível para seu crescimento. Trata-se de uma planta de grande porte e vivaz que está classificada como membro da família Poaceae. Seu porte adulto está entre 4 a 8m, raramente passando de 10m, com seu caule podendo atingir entre 2 e 3 cm de diâmetro com tonalidade verde acinzentado e oco com 2-7 mm de espessura da parede. Suas folhas apresentam entre 2 e 6 cm de largura e entre 30 e 60 cm de comprimento. Seus rizomas apresentam uma rígida base à planta, pois são fibrosos e rijos apresentando nós. Apresenta crescimento acelerado e se adapta a diversos biomas podendo atingir 96,6 t/ha de massa seca, quando estabelecida suporta condições adversas como a seca e salinidade (Simões, 2013). Segundo Cal-IPC, além da grande quantidade de biomassa gerada pela espécie, é uma planta que apresenta até 19,8 MJ/Kg de matéria seca.

2.6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA

A biomassa é um hidrocarboneto que se diferencia do petróleo por possuir átomos de oxigênio em sua composição. A presença do oxigênio na composição da biomassa diminui a exigência deste átomo do ar atmosférico e, portanto, torna os biocombustíveis menos poluentes (Fagundes, E. J., et al, 2008).

Para a caracterização da biomassa no sentido energético é importante se efetuar a caracterização física e química da espécie em questão. Quando o foco é gaseificação deve-se conhecer o teor de umidade, a massa específica, a densidade e a porosidade (Fagundes, E. J., et al, 2008). Quando a caracterização é realizada com o objetivo de produção de etanol lignocelulósico, deve-se analisar a composição química para se avaliar o teor de cinzas, extrativos, carboidratos estruturais e lignina (Fagunde, E. J., et al, 2008).

O teor de umidade é definido por Barreto (Fagundes, E. J., et al, 2008), como sendo a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa em bu ou bs.

A biomassa vegetal é composta essencialmente de celulose, hemicelulose e lignina. A celulose e a hemicelulose encontram-se agrupadas formando as fibras da madeira, a chamada holocelulose. Já a lignina é um polímero amorfo tridimensional que tem função coercitiva mantendo unidos os polímeros de holocelulose, (Fagundes, E. J., et al, 2008).

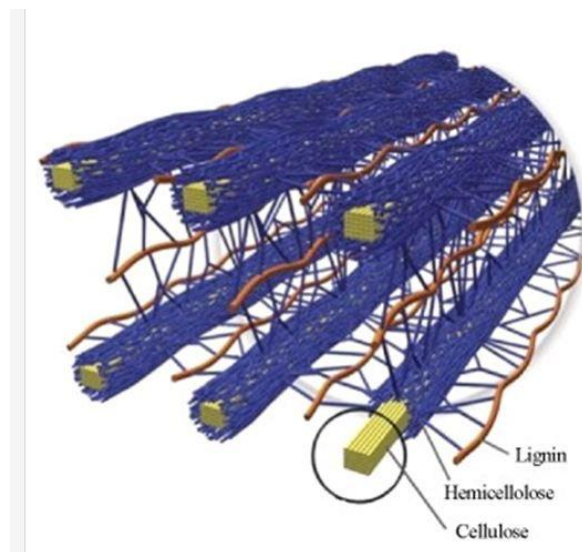


Figura 14: Estrutura da celulose, hemicelulose e lignina (King, 2013).

A análise da composição química visa determinar a quantidade de cada um destes polímeros, bem como de sua composição de extrativos, lipídeos, entre outros.

2.6.1 Análise calorimétrica

2.6.1.1 Poder Calorífico Superior e Inferior

O PCS é necessariamente determinado em base seca e é uma propriedade da biomassa. Consiste em queimar certa quantidade de uma amostra de biomassa seca e triturada em uma câmara fechada na presença de oxigênio, esta câmara se encontra mergulhada em uma quantidade de água, com massa e temperatura conhecidas, e cuja variação de temperatura é monitorada. A quantidade de calor liberada pela combustão é absorvida pela água que sofre alteração de temperatura, (Fagundes, E. J., et al, 2008).

Assume-se que o calor absorvido pela água é igual ao calor de reação, divide-se este valor pela massa da amostra e se obtém o PCS da amostra, (Fagunde, E. J., et al, 2008).

O PCI está diretamente ligado à umidade presente na amostra, quando se efetua a queima da amostra para a obtenção do PCS fica retido dentro da câmara de combustão a água resultado da reação química ou que ainda estava presente na amostra. Esta água não se condensa até que se abra a câmara de combustão, portanto guarda consigo parte da energia gerada pela queima. O PCI é justamente o

valor do PCS subtraindo o valor da energia de condensação da água, portanto, quanto maior a umidade presente na amostra, menor será o PCI, (Fagundes, E. J., et al, 2008).

2.6.2 Cinzas

Cinzas são resíduos da combustão, compostas por óxidos que normalmente se apresentam no estado sólido às condições ambientes. Para evitar inconvenientes provocados por operações inadequadas é necessário conhecer a composição e o comportamento das cinzas para se dimensionar a câmara de combustão. As cinzas podem ter origem na composição da espécie que pode apresentar elementos metálicos, semi-metálicos e metaloides, fragmentos de argila, areia, sais, pirita e fragmentos do solo misturados à biomassa no momento da colheita, (Fagundes, E. J., et al, 2008).

2.6.3 PROTOCOLOS NREL

Com mais de 35 anos de existência, o NREL se foca em eficiência energética e energias renováveis. É um laboratório norte americano de pesquisas em energias renováveis, conhecido e reconhecido mundialmente. Este laboratório dispõe de diversas normas para a caracterização de biomassa para geração energética, Figura 15.



Figura 15: Instalações do NREL (NREL).

Possuem protocolos para todas as etapas de caracterização de materiais lignocelulósicos, desde a simples determinação da umidade da espécie até a determinação da quantidade de celulose através da hidrólise ácida.

Seus roteiros experimentais direcionam de forma detalhada pesquisadores ao redor do mundo, fazendo com que seus dados possam ser bem compreendidos e comparados com o de outros pesquisadores, contudo sua maior importância advém da garantia de que os dados foram obtidos da mesma forma e nas mesmas condições de análise.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas em cinco pontos ao longo do Lago Paranoá em Brasília/DF, conforme apresentado na Figura 16. Outras cinco amostras foram adquiridas em coleta ao longo da BR 060 entre Brasília/DF e Goiânia/GO conforme Figura 17. A Tabela 1 apresenta a posição geográfica adquirida com o auxílio de GPS, onde se notará o total de 10 amostras coletadas.

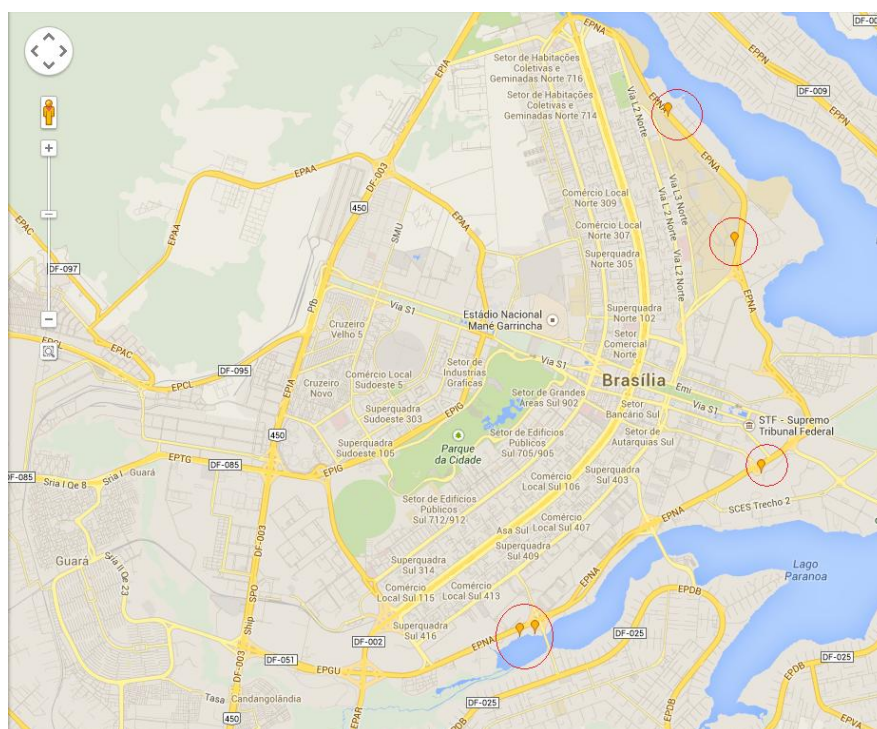


Figura 16: Pontos de coleta ao longo do Lago Paranoá.

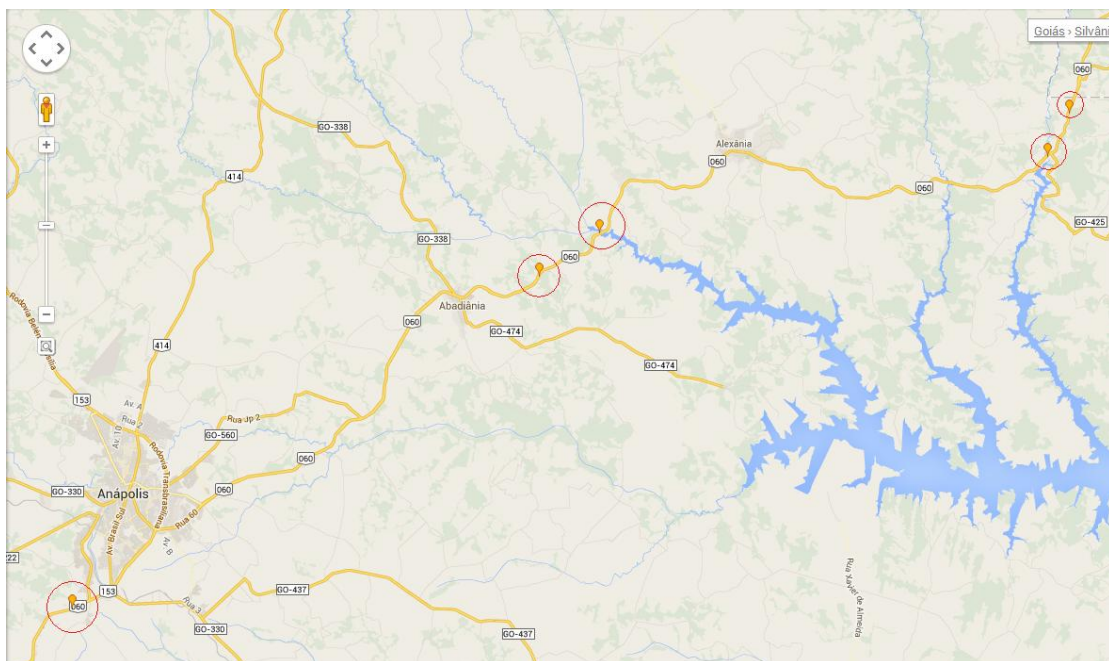


Figura 17: Pontos de coleta ao longo da BR 060.

Tabela 1: Locais de coleta de amostra

Amostra	Coordenadas	Localização
1	-15,8351319	Próximo à primeira ponte
	-47,9004541	
2	-15,8404409	Entre a primeira ponte e a estação de tratamento da caesb
	-47,9025145	
3	-15,81058247	Entre o pier 21 e a terceira ponte
	-47,86018856	
4	-15,7709839	UnB, próximo ao instituto de química
	-47,86451671	
5	-15,75206034	Próximo ao hospital veterinário da UnB
	-47,87285789	
6	-16,09201234	BR 060 próximo ao rio Descoberto
	-48,27950315	
7	-16,11187458	Entre o rio Descoberto e Anápolis
	-48,58678322	
8	-16,4193954	BR 060 saída de Anápolis para Goiânia
	-49,00447602	
9	-16,18325056	BR 060 entre Abadiânia e Alexânia
	-48,65515013	
10	-16,06720623	BR 060 Km 01
	-48,26399963	

As amostras foram numeradas de 54 a 68, seguindo a ordem de numeração de amostras do laboratório utilizado. Apresentou-se na Tabela 2 a separação das amostras.

Tabela 2: Numeração e descrição das amostras

Tipo de amostra	Numeração da amostra	Descrição
I	54 a 58	Amostras de planta inteira (caule e folhas)
F	59 a 63	Amostras de folhas
C	63 a 68	Amostras de caule

Onde,

(I) refere-se à planta inteira;

(F) refere-se às folhas;

(C) refere-se ao caule.

3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A primeira parte desta diminuição envolve a picagem de cada amostra adquirida. Para tal trabalho utilizou-se de um picador ou forrageira, aparelho específico para uma diminuição bruta do tamanho das amostras. Este aparelho foi limpo antes da picagem da amostra para evitar contaminação com outras amostras, este procedimento foi efetuado antes da moagem de cada amostra em separado com o mesmo intuito.

Após a picagem as amostras foram encaminhadas à secagem em estufa circulante à 45°C por três dias, até não haver mais variação de massa.

Selecionaram-se cinco amostras para pesagem antes da secagem com o intuito de determinar o teor de umidade presente nas amostras, estas foram pesadas uma vez por dia até que não se verificou mudanças em sua massa, o que ocorreu no terceiro dia.

Na apresentação dos resultados é importante informar se o cálculo foi efetuado para base úmida ou seca:

$$\omega_{bu} = \frac{m_{úmida} - m_{seca}}{m_{úmida}} (\%bu) \quad (1)$$

$$\omega_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{bio\ sec}} (\%bs) \quad (2)$$

Onde, $m_{úmida}$ = massa da biomassa antes do processo de secagem e m_{seca} = massa de biomassa após o processo de secagem.

Após secagem, as amostras foram processadas em moinho rotativo de facas. É necessário que as amostras apresentem granulometria entre 1 e 2mm, conforme relatório de preparação de amostras (B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter, and D. Templeton, 2008).

3.3 DETERMINAÇÃO DO PCS E PCI (Q)

Com a preparação das amostras, pôde-se dar continuidade às análises do material lignocelulósico coletado. A determinação do PCS pode ser feita com a utilização de um calorímetro. Este dispositivo se utiliza da variação da temperatura da água ao redor de uma câmara de combustão para determinar o PCS das amostras. Nesta câmara foram colocadas as amostras em contato com um pavio de ignição amarrado a um suporte metálico. Pelo suporte metálico passa uma corrente que o aquece e inicia a queima do pavio e, este por sua vez, iniciará a queima da amostra. Para garantir o consumo total das amostras é adicionado oxigênio a alta pressão à câmara de combustão, Figura 18.



Figura 18: Amostras para Bomba Calorimétrica

Para este experimento as amostras foram pesadas entre 0,3 e 1g cada, estas foram pastilhadas com o uso de um macaco hidráulico e, em seguida, colocadas

uma por vez na câmara de combustão. Cada amostra foi feita em duplicata, conforme Erro! Fonte de referência não encontrada.

A quantidade de calor absorvida pela água é calculada a partir da estabilização da temperatura desta conforme abaixo, (Fagundes, E. J., et al, 2008):

$$Q_r = m_{H_2O} \cdot C \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde, m_{H_2O} é a massa da água, C é o calor específico da água e ΔT é a variação de temperatura medida para a água.

Para o cálculo do PCI torna-se útil contar com duas fórmulas de, tanto para bs, (4), quanto para bu, (5):

$$PCI_s * m_{amostra,s} = PCS * m_{amostra,s} - (m_{H_2O,reação} + m_{H_2O,umidade}) * h_{lv} \quad (4)$$

$$PCI_u = PCI_s * \frac{m_{amostra,s}}{m_{amostra,u}} = PCI_s * (1 - \omega_{bu}) \quad (5)$$

Onde, PCI_s é o PCI da biomassa seca, PCI_u é o da biomassa úmida, $m_{H_2O,reação}$ é a massa de água formada apenas pela reação de queima, $m_{H_2O,umidade}$ é a massa de água formada com a combustão da amostra úmida, $m_{amostra,s}$ e $m_{amostra,u}$ são as massas da amostra seca e da amostra úmida e h_{lv} é a entalpia de vaporização da água (2.442 kJ/kg, em CNTP).

3.4 ANÁLISE DO TEOR DE EXTRATIVOS

A análise do teor de extrativos foi feita com a utilização de um Extrator Acelerado de Extrativos (ASE), Figura 19, com água e etanol como solventes de acordo com os protocolos do NREL.



Figura 19: Extrator acelerado de extrativos, ASE.

Pesadas 2g de amostras, estas foram acondicionadas em celas e inseridas no carrossel do ASE, iniciando-se a extração.

Ao final da extração os vials conterão os extrativos com o respectivo solvente.

Seguindo-se o protocolo de extração, (A. Sluiter, et al, 2005), procede-se com a correção do volume de solvente e com a homogeneização da amostra.

Por fim, retira-se 5 mL da amostra e coloca-se em placa petri para serem levadas a secagem para a retirada do solvente. Então se realiza nova pesagem para a obtenção dos dados necessários aos cálculos.

3.5 ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE

Nesta etapa efetuou-se a pesagem de aproximadamente 1g de cada amostra em duplicata, tanto do material in natura quanto do material extraído, e se encaminhou para a secagem em estufa a 105 °C para a completa retirada a água existente. Tal procedimento tem como objetivo determinar bs e bu das amostras para a correção destes valores nos resultados obtidos.

3.6 ANÁLISE DO TEOR DE LIGNINA E CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS

De posse do material livre de extrativos, fica-se livre para o procedimento de hidrólise ácida. Neste procedimento são separadas cerca de 300 mg de amostras em tubos resistentes A temperaturas e pressões superiores a 120 °C e a 1 kgf/cm², necessárias a esta etapa. Tem como objetivo a obtenção de material para análise da quantidade de açúcares estruturais, lignina insolúvel e lignina solúvel.

Após a pesagem das amostras e acondicionamento nos tubos mencionados acima, insere-se em cada um deles um volume de 3 mL de ácido sulfúrico 72% e encaminha-se as amostras a um banho à 30 °C por 60 minutos, mexendo-se periodicamente durante o período, Figura 20. Findado o banho, a concentração de ácido é diluída com 84 mL de água deionizada a fim de atingir concentração volumétrica de 4%, então as amostras são encaminhadas à autoclave por uma hora para a finalização da etapa de hidrólise.



Figura 20: Amostras em banho por 01 hora.

Em seguida a estes passos, procede-se a filtragem do material para a separação da lignina insolúvel e a retirada de quotas para a determinação do total de açúcares após a hidrólise e do total de lignina solúvel presente. Os açúcares foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência em HPLC com coluna específica para fase móvel ácida, já a lignina solúvel se determina por teste de absorbância a 240 nm, por um aparelho analisador de UV visível.

3.7 ANÁLISE DO TEOR DE PROTEÍNAS

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl. Este método baseia-se na digestão das amostras em um digestor por seis horas, após este período de digestão as amostras são levadas a um evaporador, onde o nitrogênio existente é condensado e titulado com ácido bórico 4% m/m.

4 Resultados e Discussão

Houve curiosidade acerca das diferenças existentes entre folhas, caule e plantas inteiras. Para este fim, se resolveu efetuar a separação entre as amostras da seguinte maneira: as últimas 5 amostras foram separadas em caule e folhas dando origem a 10 amostras; as primeiras 5 amostras não sofreram quaisquer separações, ou seja, são de plantas inteiras; ao final gerou-se o total de 15 amostras.

A umidade presente nas amostras tem influência nos resultados obtidos. A existência ou não de umidade numa determinada amostra pode apresentar resultados completamente diferentes, pois quando a biomassa está seca, a energia liberada pela combustão será totalmente utilizada para realizar trabalho ou fornecer energia a algum processo, o que não ocorreria com a biomassa úmida onde parte da energia liberada seria absorvida pelas moléculas de água no momento de sua evaporação. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos das análises calorimétricas das amostras aqui obtidas, nota-se que os valores de PCI e PCS são ligeiramente diferentes devido a consideração ou não da umidade existente na amostra.

Tabela 3: Poder calorífico superior e inferior, umidade e cinzas em função de cada parte da planta.

Parte da planta	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	UMIDADE (% EM MASSA)	CINZAS DA PLANTA (% EM MASSA)	CINZAS DA PLANTA EXTRAÍDA (% EM MASSA)
I	17,50±0,86	17,46±0,85	5,92±0,14	5,32±0,07	2,76±0,55
F	17,51±0,04	17,46±0,37	4,80±0,07	7,99±0,30	6,59±1,01
C	17,10±0,19	17,06±0,19	7,36±0,08	3,73±0,08	2,68±0,19

O teor de umidade natural médio encontrado foi de 49,18%, confirmando os dados encontrados por Oliveira, (OLIVEIRA, 2013), este teor é calculado com base no material *in natura* colocado no processo de secagem por três dias em estufa circulante ou até não se observar alterações em sua massa. As amostras já preparadas apresentaram umidade entre 4 e 7%, os dados representados na Tabela 3 demonstram que o caule reserva maior umidade que o observado nas folhas e em plantas inteiras. Por possuírem maior superfície de contato com a atmosfera, as folhas apresentam perda de água superior ao observado nos caules, ou seja, o processo de secagem deve ser superior para a retirada de água do caule caso se queira aproveitar melhor a energia oxidativa.

O poder calorífico médio foi de 17,03 MJ/kg de amostra o que confere com os dados medidos por Oliveira, (OLIVEIRA, 2013), e também informado por Simões, (Simões, 2013). Segundo Silva (Silva, Marcelo, et al, 2008), o bagaço de cana-de-açúcar com teor de umidade próximo de 10% (o mais próximo ao encontrado por este trabalho) fornece em média 16,69 MJ/kg, a cana-do-reino apresentou poder calorífico médio de 17MJ/kg. Observando-se a Tabela 3 notaremos que o poder calorífico não apresentou diferença dependente de partes da planta, ou seja, folhas e caules apresentam o mesmo poder calorífico. Este fato se confirma ao se observar os valores de PCS encontrados para as amostras de plantas inteiras. Quanto ao teor de cinzas, foram encontrados valores médios de 5,36% em base úmida e de 5,68% em base seca, o que também confirma os dados encontrados por Oliveira, (OLIVEIRA, 2013). A importância deste dado pode ser demonstrada na Tabela 3, onde podemos verificar valores diferentes para partes diferentes da planta, a planta inteira apresentou valores percentuais, em massa, por volta de 5% de cinzas enquanto a folha apresentou os valores na cercania dos 8%, já o caule apresentou apenas 4%. Portanto as folhas possuem um teor de cinzas superior ao observado para o caule, este fato se deve ao fato de que as conversões de matéria inorgânica em açúcares ocorrer mais nas folhas que no caule. Outro fato relevante a cerca das cinzas é relativo à conservação das caldeiras que ficam expostas a ação dos elementos presentes nestas, o não conhecimento dos elementos existentes nas cinzas desta espécie pode diminuir o tempo de vida da caldeira por corrosão ou por deposição de cristais inorgânicos em suas paredes.

As fibras foram submetidas à hidrólise ácida para quebra de carboidratos estruturais e separação da lignina. Os açúcares resultantes desta quebra foram então solubilizados e quantificados por meio da cromatografia líquida de alta resolução em HPLC, Tabela 4. A Figura 21 mostra os cromatogramas típicos da cana-de-açúcar (A) e da Arundo Donax (B). Nota-se que as duas amostras apresentam picos cromatográficos muito semelhantes, destacando-se um pico para glicose em 5 min, xilose em 8 min, arabinose em 13 min e ácido acético em 17 min. Esses carboidratos são provenientes da quebra da celulose e hemicelulose presente nas duas biomassas.

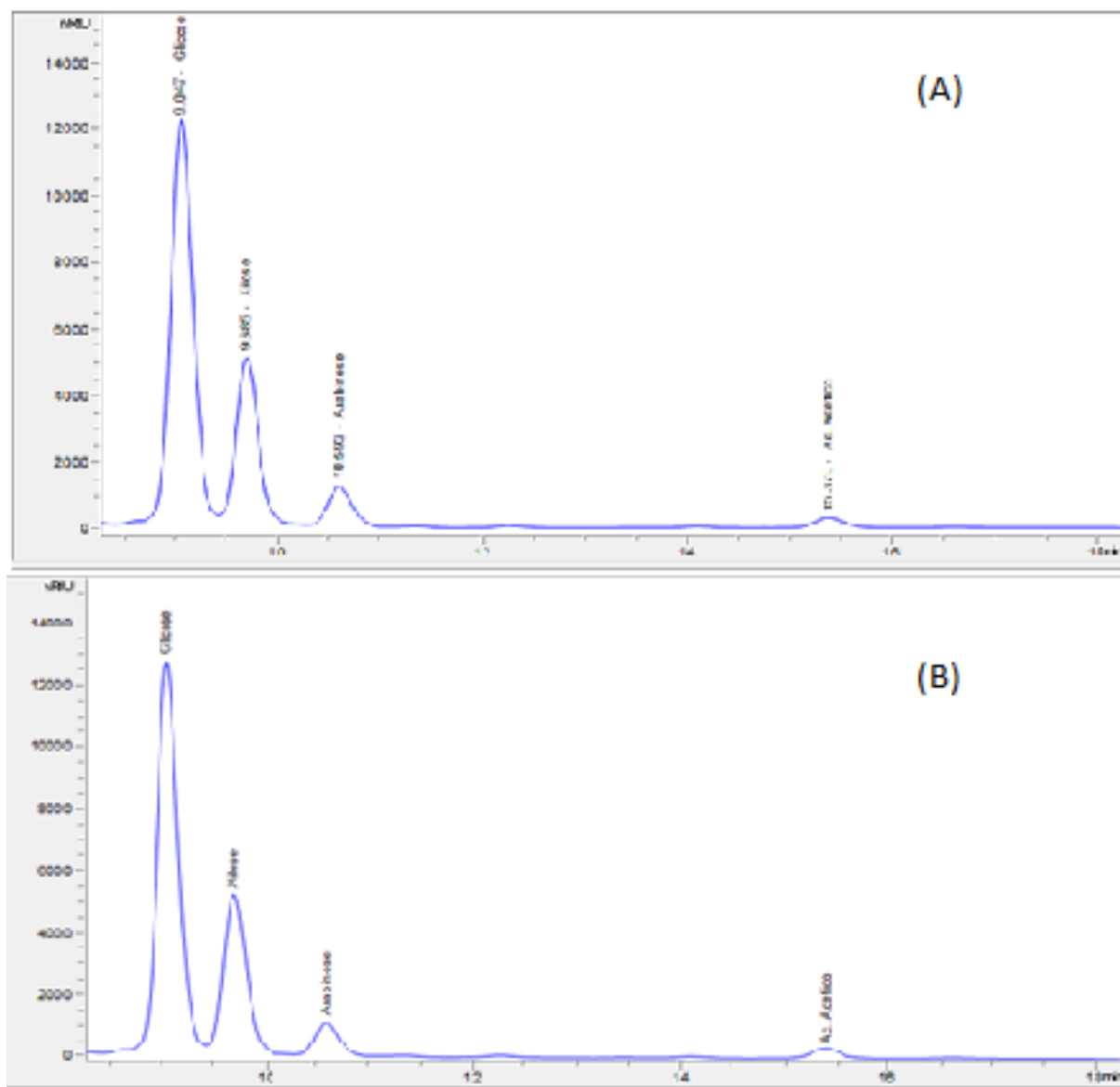


Figura 21: Cromatogramas de HPLC para a cana-de-açúcar (A) e para o *Arundo donax* L. (B).

Tabela 4: Caracterização química da *Arundo Donax* em função de cada parte da planta.

Parte da planta	EXTRATIVOS (% EM MASSA)	CINZAS (% EM MASSA)	CELULOSE (% EM MASSA)	HEMICELULOSE (% EM MASSA)	LIGNINA SOLÚVEL (% EM MASSA)	LIGNINA INSOLÚVEL (% EM MASSA)	PROTEÍNAS (% EM MASSA)
I	12,76±1,86	5,33±0,08	39,38±1,30	22,61±0,43	2,46±0,18	16,22±1,09	1,01±0,08
F	19,52±1,79	8,00±0,31	32,66±0,35	20,54±0,29	2,68±0,22	14,99±0,25	1,74±0,04
C	12,56±2,25	3,73±0,09	34,06±1,10	23,45±0,28	2,75±0,14	19,89±1,24	0,66±0,06

O percentual de extrativos da indica valores médios de 17,84% de extrativos totais em base seca ao se considerar a retirada dos solventes usados, a água e o etanol. Os dados indicam um percentual de 3,79% em bs e 4,02% em bu para a matéria inorgânica estrutural. A Tabela 4 deixa claro que as folhas apresentam uma maior quantidade de extrativos totais em comparação com a planta inteira ou

somente o caule. Este fato é devido à presença das organelas celulares responsáveis pela fotossíntese estarem presentes em maior número nas folhas, onde geralmente é efetuada esta conversão.

O percentual de proteínas bruto foi de 7,51% em bu e 1,27% em bs, em consulta ao site Feedipedia, (Vargas et al.), encontram-se dados que se aproximam destes valores, 8,8%. Nota-se que as folhas apresentam maiores valores de proteínas que o caule conforme apresenta Tabela 4, fato este que também corrobora com a produção orgânica que acontece nesta parte da planta.

As análises da Tabela 4 no tocante aos teores de lignina solúveis e insolúveis demonstraram valores médios percentuais de 19,66%, valores menores que os encontrados por (Seca, Ana; et al, 2000). Mas, como era esperado, a lignina é encontrada em sua maior parte no caule uma vez que tem o papel de unir as fibras de sustentação dos tecidos vegetais.

Os carboidratos estruturais demonstraram valores médios percentuais de 39,29%, 19,95%, 2,79% e 5,58% para as medidas em massa de Celulose, Xilose, Arabinose e Ácido Acético respectivamente. Segundo (Cardoso, 2008), os teores médios encontrados na cana-de-açúcar estão em 40% para a celulose e 40% hemicelulose, o que indica a presença destes carboidratos na cana-do-reino. A conversão em celulose e hemicelulose apresentada na Tabela 4 deixa claro que o caule é o elemento que apresenta maior concentração de celulose, em massa, dados já corrigidos pelo fator de conversão de cada um dos carboidratos.

5 Conclusões e perspectivas futuras do trabalho

Quanto ao objetivo deste trabalho, a espécie apresentou características compatíveis para a geração de etanol de segunda geração, ou lignocelulósico, com padrões de açúcares estruturais próximos aos apresentados pela cana-de-açúcar quando comparados aos dados divulgados nos estudos científicos e na literatura consultada. Este fato indica possibilidade de uso deste espécie como alternativa na geração de etanol em períodos de entressafra, uma vez que a exigência de solo deste é bem pequena não necessitando de solos muito férteis para se consolidar.

O potencial calorífico também apresentou valores bem próximos entre das duas espécies, conforme literatura, indicando um possível uso na alimentação de caldeiras na utilização industrial. Contudo, cabe ainda a investigação mais detalhada dos resíduos deixados pela sua queima a fim de se evitar a produção de compostos prejudiciais ao bom funcionamento da caldeira.

Em se tratando do fechamento de massa, obtiveram-se valores acima dos 93%, o que nos indica que o experimento foi bem sucedido, com boa recuperação do material inicialmente experimentado.

Os teores de celulose, hemicelulose e lignina apresentaram variação entre as análises efetuadas para cada parte da planta e para a planta inteira. O caule se destacou em relação às folhas e manteve ligeira vantagem em relação à planta inteira, quando se trata de celulose e hemicelulose.

Como continuação deste trabalho sugere-se a averiguação da conversão da biomassa em questão para etanol a fim de confirmar seu potencial como opção energética e o estudo de seus resíduos de combustão para a verificação de seu uso para a alimentação caldeiras.

Bibliografia

- A. Sluiter, et al. 2005.** *Determination of Extratives in Biomass*. s.l. : NREL, 2005.
- B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter, and D. Templeton. 2008.** *Preparation of Samples for Compositional Analysis*. 08 de 06 de 2008.
- Bianca Lovezutti Gomes; Fabricio Heitor Martelli; Wilson Tadeu Lopes da Silva. 2013.** CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA DE BIOMASSA DE CAPIM-ELEFANTE, CAPIM-MOMBAÇA, BRACHIARIA, SORGO-EMBRAPA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR. Março de 2013.
- BiodieselBR. 2014.** BiodieselBR. [Online] 2014.
<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/biocombustiveis.htm>.
- BONNIE R. HAMES,* STEVEN R. THOMAS, AMIE D. SLUITER, CHRISTINE J. ROTH, AND DAVID W. TEMPLETON. 2003.** Rapid Biomass Analysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2003.
- Cal-IPC.** California Invasive Plant Concil. [Online]
- Cardoso, Vanessa Miguel. 2008.** *Aplicação da Radiação de Feixe de Elétrons como Pré-tratamento do Bagaço de Cana de Açúcar Para Hidrólise Enzimática da Celulose*. São Paulo : Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, 2008.
- Carlos A. M. Santana, Frederico O. M. Durães. 2013.** Oferta e distribuição de biomassa no Brasil. [A. do livro] Sílvia Vaz Júnior. *Biomassa para química verde*. s.l. : Embrapa, 2013, p. 17.
- CENBIO. 2014.** Centro Nacional de Referência em Biomassa. *Centro Nacional de Referência em Biomassa*. [Online] 2014.
- . **2014.** Centro Nacional de Referência em Biomassa. *CENBIO*. [Online] 2014. [Citado em: 02 de 05 de 2014.] <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/conceituando.htm>.
- EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas. 2013.** *Balanco Energético Nacional 2013: Ano base 2012*. Brasília : Ministério de Minas e Energia, 2013.
- Fagundes, E. J., ET AL. 2008.** *Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida Soluções Energéticas para a Amazônia*. 2008.
- Fonseca, Krukemberghe.** Brasil Escola. [Online] [Citado em: 02 de 05 de 2014.] <http://www.brasilestela.com/biologia/conceitos-respeito-ecologia.htm>.
- IEA. 2013.** *Key World Energy Statistics*. Paris : International Energy Agency, 2013.
- Jim Henderson. 2014.** Wikipedia The Free Encyclopedia. *Wikipedia*. [Online] 2014. [Citado em: 02 de 05 de 2014.] http://en.wikipedia.org/wiki/Pre-salt_layer.
- Júnior, Sílvia Vaz. 2013.** *Biomassa para química verde*. 2013.
- King, Annie. 2013.** INTECH. [Online] Department of Animal Science, University of California, Davis, USA, 28 de 08 de 2013. [Citado em: 12 de 05 de 2014.] <http://www.intechopen.com/books/cellulose-fundamental-aspects/removal-of-excess-cellulose-and-associated-polysaccharides-in-fruit-and-vegetable-by-products-implic>.
- . **2013.** Removal of Excess Cellulose and Associated Polysaccharides in Fruit and Vegetable By-Products – Implication for Use in Feed for Monogastric Farm Animals. *Cellulose - Fundamental Aspects*. s.l. : INTECH, 2013.
- Lora, Electo E. S., ET AL. 2012.** *Biocombustíveis*. 2012.
- NREL.** National Renewable Energy Laboratory. [Online] <http://www.nrel.gov>.
- OLIVEIRA, GIORDANO BRUNO DA SILVA. 2013.** *POTENCIAL ENERGÉTICO DA ESPÉCIE Arundo Donax L. (CANA-DO-REINO)*. 2013.
- PETROBRÁS.** PETROBRÁS. [Online] PETROBRÁS. <http://www.petrobras.com.br>.

PROPRIEDADES DE BIOMASSAS PARA USO COMO ENERGÉTICO NO SETOR CERÂMICO. T.G. Jahn, V.P. Nicolau, A P. Dadam; Lehmkuhl, W.A.; Reinaldo, E.B. 2008. 2008.

Seca, Ana M. L.; Cavaleiro, José A. S.; Domingues, Fernando M. J.; Silvestre, Armando J. D.; Evtuguin, Dmitry; Neto, Carlos Pascoal;. 2000. *Structural Characterization of the Lignin from the Nodes and Internodes of Arundo donax Reed*. Avieiro, Portugal : Food Chem, 2000.

Silva, Marcelo Bacci; Morais, Anderson Santos;. 2008. *Avaliação Energética do Bagaço de Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação*. Rio de Janeiro : XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008.

Silva, Rafael; et al. 2009. Scielo. *Química Nova*. [Online] 2 de Abril de 2009. [Citado em: 10 de 05 de 2014.] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300010.

Simões, Kenya C.C., 2013. 2013. *Ocorrência e caracterização da espécie invasora Arundo donax L. (CANA-DO-REINO) no Distrito Federal, Brasil*. 2013. Dissertação de Mestrado.

Vargas et al. Feedipedia. [Online] <http://www.feedipedia.org/node/12120>.

World Energy Balance Outlook and OPEC Production. **Mirchi, Ali; Hadian, Saeed;**

Madani, Kaveh; Rouhani, Omid M; Rouhani, Azadeh M;. 2012. 2012, *Energies*, Vol. 5, pp. 2626 - 2651.